毛皮动物能量代谢的研究进展[1]

钟　伟　穆琳琳　张　婷　张新宇　李光玉*

（中国农业科学院特产研究所，特种经济动物分子生物学国家重点实验室，长春 130112）

摘　要：饲粮能量直接影响毛皮动物生产性能，如何真实评价动物对饲料能量的需要、利用及能量转化效率是能量代谢研究的重点。毛皮动物维持能量受动物的基础代谢、环境温度、饲养管理、品种、营养物质代谢热增耗等因素的影响。本文综述了毛皮动物能量代谢的研究进展，为毛皮动物精细化饲养和饲料的精准配制提供充足的理论依据。

关键词：毛皮动物；维持能量；代谢能

中图分类号：S815　　文献标识码：A　　文章编号：

能量是饲料营养成分的重要组成部分，饲粮能量对动物生长发育起到极其重要的作用，直接影响动物的生产性能[1-4]。通常毛皮动物饲料能值用代谢能来评定。我国毛皮动物营养标准中的代谢能值主要是参考 NRC(1982)[5]、NRC(2006)[6]或较早的文献报道，但由于国内与国外毛皮动物品种、饲养方式、饲料结构及组成等均有差异，参考的代谢能值准确性与实际有较大误差，由此造成所参考的数据不具有代表性。鉴于此，有必要结合我国毛皮动物生产实际深入开展毛皮动物能量代谢的系统研究工作，以完善我国毛皮动物的营养标准，指导毛皮动物产业健康发展。

1　动物能量代谢体系

饲料的能量包括总能、消化能、代谢能以及净能。目前主要有 3 种能量体系，即消化能体系、代谢能体系和净能体系，不同体系下饲料原料的能值存在明显差异[7-8]。在猪和禽类能量代谢研究方面，已开展到饲料原料的净能评价及净能需要量研究工作，并建立了饲料原料净能预测方程及净能需要量的模型[9]。在毛皮动物能量代谢研究方面，仅围绕在代谢能体系开展些工作，尚未开展净能评价研究。

2　毛皮动物能量代谢的研究

2.1　水貂能量体系研究

2.1.1　维持代谢能（MEm）需要

MEm 即动物沉积为零时的采食代谢能水平。MEm 随动物的生理时期不同而变化，受

收稿日期：2018-01-12
基金项目：中国农业科学院科技创新工程（CAAS-ASTIP-2018-ISAPS);吉林省重点科技成果转化项目(20160307022NY)
作者简介：钟　伟（1980-），女，吉林永吉人，副研究员，博士研究生，从事特种经济动物营养代谢研究。E-mail：zhongwei8015@163.com
*通信作者：李光玉，研究员，博士生导师，E-mail：　tcslgy@126.com

环境条件与饲养管理等因素影响。1927 年，美国科学家 Palmer[10]就开始研究水貂和狐狸的能量代谢，但主要集中在 MEm 体系。国外研究水貂 MEm 需要具体见表 1 和表 2。从表 1 可知，水貂 MEm 受品种、生理阶段、环境条件和饲养管理影响[11-19]。从表 2 可知，成年公貂从 7 月份至 11 月份 MEm 逐渐升高，由于夏季时环境温度较高，水貂产生热增耗较大，导致 MEm 较高，从 9 月份至 11 月份成年貂开始沉积脂肪，使 MEm 较高；从 12 月份至次年 2 月份 MEm 降低，表明公貂进入配种期，公貂体重下降使 MEm 降低；3 月份至 6 月份 MEm 趋于稳定，3 月份公貂完成配种，4 月份至 6 月份身体恢复需要保持稳定的 MEm；母貂虽不参与繁殖，但 MEm 变化规律基本同公貂[20]。国内杨嘉实等[21]采用间接测试法、能量平衡试验和比较屠宰试验报道水貂生长前期（育成期）的绝食代谢产热量和 MEm 分别为 507.9 和 551.0 kJ/kg BW$^{0.75}$/d；生长后期(冬毛期)的绝食产热量和 MEm 分别为 559.0 和 579.5 kJ/kg BW$^{0.75}$/d。Fink 等[22]研究报道哺乳期仔貂 MEm 变化在 356～448 kJ/kg BW$^{0.75}$。国内外水貂品种不同，饲养环境、饲料组成结构等存在诸多差异，均可能是造成水貂 MEm 不同的主要原因。

表 1　水貂 MEm 需要

Table 1　MEm requirements for minks

生产阶段 Growth stage	性别 Sex	体重 Body weight/kg	试验技术 Technique	维持代谢能 MEm	文献 Literature
成年 Adult	母	0.79	间接测试法	430 kJ/kg BW$^{0.75}$	Farrell 等[11]
成年（冬季） Adult (winter)	公		能量平衡试验	500~585 kJ/kg BW	Pereldik 等[12]
成年（夏季） Adult (summer)	公		能量平衡试验	630~710 kJ/kg BW	Pereldik 等[12]
成年 Adult	公	1.17~1.45	间接测试法	527 kJ/kg BW$^{0.75}$	Chwalibog 等[13]
成年 Adult	公	1.66~2.40	间接测试法	653 kJ/kg BW$^{0.75}$	Charlet-Lery 等[14]
成年 Adult	母)	1.0~1.1	直接测试法(18 ℃)	768 kJ/kg BW	Wamberg[15]
成年 Adult	母)	1.0~1.1	直接测试法(24 ℃)	501 kJ/kg BW	Wamberg[15]
生长 Growing	公	0.3~1.0	平衡试验/比较屠宰法	618 kJ/kg BW$^{0.734}$	Harper 等[16]
生长 Growing	公	1.0~1.8	间接测试法	680 kJ/kg BW$^{0.75}$	Chwalibog 等[17]

生长 Growing	公	1.1~1.3	平衡试验/比较屠宰法	628~712 kJ/kg BW	Hansen 等[18]
生长 Growing	公	1.4~1.9	平衡试验/比较屠宰法	712~732 kJ/kg BW	Hansen 等[18]
生长 Growing	母	0.3~0.6	间接测试法	649 kJ/kg $BW^{0.75}$	Burlacu 等[19]
生长 Growing	母	0.6~1.1	间接测试法	607 kJ/kg $BW^{0.75}$	Burlacu 等[19]

表 2　成年貂全年的代谢能需要

Table 2　Metabolizable energy requirements for adult minks through a year　　kJ/d[20]

月份 Month	公貂 Male mink	母貂 Female mink※
1	1 400	1 000
2	1 450	1 100
3	1 500	1 200
4	1 450	1 050
5	1 500	1 050
6	1 500	1 100
7	1 800	1 200
8	1 850	1 220
9	1 850	1 350
10	1 900	1 400
11	1 800	1 300
12	1 500	1 050

※：非繁殖 none reproducing。

2.1.2　生长期能量需要

适宜的能量供应能够满足仔貂生长和毛皮发育。国外研究推荐了生长期水貂饲粮总能适宜为 22.26 MJ/kg 或 22.68～23.10 MJ/kg[23-24]。1969～1970 年对丹麦 45 家水貂饲粮分析与评价，得出代谢能为 14.23～16.32 MJ/kg；对瑞典水貂饲粮检测与分析，得出代谢能为 14.64～18.83 MJ/kg[25]。NRC（1982）[5]推荐生长期水貂饲粮代谢能的适宜量，公貂为 17.07 MJ/kg，母貂为 16.44 MJ/kg。国外系统研究了生长期公貂和母貂体重的变化对应的代谢能需求规律，具体见表 3。

国内李昌锐[26]研究高寒地区水貂育成期总能为 22.04~22.36 MJ/kg，冬毛期为 21.89 MJ/kg。杨嘉实等[27]报道水貂育成期总能为 20.92 MJ/kg，冬毛期为 20.50 MJ/kg；水貂育成期代谢能为 16.74 MJ/kg，冬毛期为 16.32 MJ/kg。顾华孝等[28]研究表明公貂适宜代谢能为 17.15～17.57 MJ/kg，母貂适宜代谢能为 16.74～17.15MJ/kg。杨颖[1]研究表明育成期适宜代谢能：公貂为 15.0 MJ/kg，母貂为 16.75 MJ/Kg；冬毛期公貂代谢能为 16.19 MJ/kg 能得到最长的干皮长，公貂代谢能为 15.0 MJ/kg 能得到较好的毛皮质量；冬毛期母貂适宜代谢能为 14.41 MJ/kg。国外与国内水貂品种不同，饲养模式、饲料组成结构等因素存在差异，国内开展能量代谢研究，试验条件、试验动物、选用干粉或鲜饲料的不同等均影响能量代谢试验结果，这些因素可能是造成生长期水貂代谢能结果不完全一致的主要原因。

表 3　生长仔貂体重和代谢能需要

Table 3　Body weight and metabolizable energy requirements for growing young mink[20]

周龄 Weeks of age	公貂 Male mink 体重 Body weight/g	公貂 Male mink 代谢能 ME/（kJ/d）	母貂 Female mink 体重 Body weight/g	母貂 Female mink 代谢能 ME/（kJ/d）
8	650	1 300	550	1 050
9	800	1 310	650	1 150
10	1 050	1 400	750	1 190
11	1 150	1 800	850	1 200
12	1 225	1 860	960	1 250
13	1 350	2 000	990	1 320
14	1 500	2 100	1 050	1 340
15	1 650	2 150	1 100	1 390
16	1 780	2 260	1 140	1 400
17	1 850	2 280	1 170	1 410
18	2 000	2 300	1 200	1 420
19	2 150	2 310	1 240	1 430
20	2 270	2 310	1 280	1 440
21	2 450	2 350	1 380	1 440
22	2 670	2 450	1 510	1 450

23	2 950	2 450	1 550	1 480
24	3 200	2 550	1 600	1 500
25	3 450	2 550	1 650	1 510
26	3 600	2 450	1 700	1 400
27	3 750	2 400	1 750	1 350
28	3 900	2 350	1 800	1 300

2.1.3 繁殖期能量需要

饲粮中供应适宜的能量有利于种貂繁殖性能发挥。研究表明配种期中等体重的母貂更易受孕，妊娠早期和中期过量摄入能量会导致母貂体重过胖出现难产机率增加，产仔率降低，胚胎吸收等情况发生[29]。哺乳期摄入高能量饲粮对促进仔貂生长及母貂的泌乳非常重要。Tauson 等[30]研究发现平均哺育 6 只貂仔的母貂从生产第 1 周至第 4 周代谢能摄入增加了近 2 倍。从生产第 1 周母貂摄入代谢能从 900 kJ/kg $BW^{0.75}$ 到第 4 周增加至 1 600 kJ/kg $BW^{0.75}$，然而分泌乳汁能量消耗从 550 kJ/d 到 1 760 kJ/d，这种情况下貂仔的体重还会有点降低[31]。这说明母貂增加代谢能摄入远不能满足哺乳期的能量消耗，还需动用母貂贮存的体脂，这从母貂体重显著降低可以证明。杨嘉实等[27]研究表明水貂妊娠期、哺乳期饲粮适宜总能分别为 20.50 和 20.92 MJ/kg。Tauson[32]研究表明母貂哺乳前期（貂仔从出生至刚开始采食饲粮）饲粮代谢能为 16.0 MJ/kg 较适宜，哺乳后期（采食饲粮后至断奶）饲粮代谢能为 17.3 MJ/kg 能保证貂仔的生长和母貂的生产性能。

母貂从配种期至胚胎着床期间应增加代谢能摄入，在整个妊娠期间降低代谢能摄入，从妊娠末期至哺乳期再次增加代谢能摄入，按照这个规律供应饲粮能量方能保证母貂的正常生产和仔貂的生长发育。

2.2 蓝狐代谢能体系研究

Koskinen 等[33]研究报道雌性仔蓝狐从 8 月份（约 70 日龄）至 12 月份（210 日龄）采用呼吸测热试验，饲喂 4 种能量水平的饲粮，分别是自由采食组（即超出身体需要量）、20%~30%限饲组（即部分超出机体需要）、35%~45%限饲组（正好满足机体所需）和 50%~60%限饲组（不能满足机体需要），结果表明仔狐从 70 日龄至 210 日龄，整个试验期处于正能量平衡中，自由采食组代谢能的采食量从 1 620 kJ/kg $BW^{0.75}$ 下降到 820 kJ/kg $BW^{0.75}$，最高限制组代谢能采食量从 1 460 kJ/kg $BW^{0.75}$ 下降到 460 kJ/kg $BW^{0.75}$，自由采食组每天能量需要为 330~1 050 kJ/kg $BW^{0.75}$，高限制组每天能量需要为 100~990 kJ/kg $BW^{0.75}$。Koskinen 等[33]还研究了上述 4 种能量水平下成年狐的能量供应，自由采食组在 1 月份至 2 月份每天代谢能是

100 kJ/kg $BW^{0.75}$，而在秋季采食最高限制组每天的代谢能超过 300 kJ/kg $BW^{0.75}$。Koskinen 等[34]研究报道在 4 组间热增耗无显著性差异，但从 1 月份至 5 月份饲喂最高限制采食组狐处于积极正能量平衡。NRC（1982）[5]推荐狐在各个生理阶段的能量均为 13.5 MJ/kg DM。靳世厚等[35]采用呼吸测热、碳氮平衡和不同营养饲养相结合的研究方法得出，蓝狐生长前期的 MEm 为 467.05 kJ/kg $BW^{0.75}$，生长后期（冬毛期）的 MEm 为 494.67 kJ/kg $BW^{0.75}$；其他试验结果得出，生长前期（7~16 周龄）蓝狐每只每日代谢能需要量为 1.5~2.0 MJ，饲粮粮代谢能为 14.1~14.3 MJ/kg DM，生长后期（17 周龄至取皮），蓝狐每只每日代谢能需要量为 2.3~2.6 MJ，饲粮的代谢能为 12.5~13.0 MJ/kg DM。Koskinen 等[34]提出狐的体重为 5.00、5.75 和 6.00 kg 时，日代谢能需要量为 2.76、2.34 和 2.05 MJ。

生长期、成年蓝狐体重与代谢能需求见表 4 和表 5。表 5 表明，在冬季成年狐由于配种前体重降低，代谢能消耗降低；在夏季成年狐代谢能需要与生长狐相同，而在秋季，当脂肪开始沉积时代谢能较高。

表 4　生长期蓝狐体重与代谢能需要

Table 4　Body weight and metabolizable energy requirements for growing blue fox[20]

周龄 Weeks of age Yearling	公狐 Male fox/g	母狐 Female fox/g	平均代谢能 AME/（kJ/d）
7	2 500	2 200	2 600
8	3 300	3 100	3 200
9	4 000	3 750	3 800
10	4 500	4 200	4 200
11	5 200	4 800	5 000
12			5 800
13			6 400
14	8 300	7 500	6 800
15			6 900
16			7 200
17			7 600
18	11 500	10 500	8 400
19			8 500

20			8 550
21			8 600
22	14 000	12 600	8 600
23			8 700
24			8 300
25	16 600	15 000	8 000

表 5　成年蓝狐代谢能需要

Table 5　Metabolizable energy requirements for adult blue fox　　kJ/d[20]

月份 Month	公狐 Male fox	母狐 Female fox
1	1 500	1 350
2	1 600	1 500
3	1 850	1 600
4	2 800	2 400
5	3 200	2 800
6	3 600	3 000
7	3 900	3 300
8	4 200	3 800
9	5 000	4 200
10	5 600	5 000
11	5 200	4 700
12	2 950	2 600

绝食仔蓝狐热增耗见表6。从表可知，处于生长期的蓝狐随着月龄增加，每千克代谢体重的绝食产热量逐渐降低，这与动物所处的生理基础相吻合，动物月龄越小，单位代谢体重绝食产热越高。

表6　绝食仔蓝狐的热增耗

Table 6　Heat increment in fasting blue fox cubs[36]

月份 Month	月龄 Months of age	体重 Body weight/g	绝食热增耗 Fasting heat increment/（Cal/kg/day）
7	2	1 680	514.8
8	3	2 660	435.3
9	4	3 260	380.9
10	5	3 680	339.1
11	6	4 010	313.9
12	7	4 560	267.9

3 影响毛皮动物维持能量的因素

维持能量需要有2种表示方法：一种是MEm，即动物沉积为零时的采食代谢能水平；另一种表示方法是维持净能需要，即维持动物基础代谢产热的需要。动物的基础代谢、环境温度、饲养管理、品种、营养代谢热增耗等均会对毛皮动物的维持能量需要产生影响[37]。

3.1 动物基础代谢率（basal metabolic rate，BMR）

BMR是指健康动物在室温条件下，处于空腹、安静放松状态时，维持自身生存所必需的最低限度的能量代谢产热。Farrell等[11]研究表明由于物种的特异性，准确测定水貂的BMR较困难，BMR的测定只能在水貂睡觉时很短的时间内完成，结果显示母貂的BMR为324 kJ/kg $BW^{0.75}$。Iversen[38]研究表明鼬科动物体重在1.0～15.0 kg，BMR为354 kJ/kg $BW^{0.78}$。

3.2 环境温度

环境温度是影响能量需求的重要因素之一。相对较冷的温度，水貂需要摄入额外的能源来补偿身体增加的热增耗，这种需要额外的能量来维持动物体温的温度称为最低临界温度。Korhonen等[39-40]研究表明低于最低临界温度，每降低1 ℃需要增加9.6~15.5 kJ/kg $BW^{0.75}$的能量。Glem-Hansen等[41]研究表明在－3～22 ℃，环境温度每降低1 ℃，水貂热增耗就线性增加12.1 kJ/kg $BW^{0.75}$。Korhonen等[40]研究表明蓝狐最低临界温度为－6 ℃，但低于这个温度，能量需求增加还尚未数据报道。Wamberg[15]研究表明用直接测热法成年母貂在18 ℃热增耗是768 kJ/kg/d，在24 ℃是501 kJ/kg/d。

3.3 饲养管理

饲养管理影响维持能量的需要。水貂笼箱的大小影响着能量的消耗，当水貂活动受限时，能量消耗极显著降低[42]。Farrell等[43]研究表明平均温度均为11 ℃时，成年母貂在大的笼箱中需要1 079.9 kJ/kg的消化能，在小笼箱中需要845.5 kJ/kg的消化能。

3.4　品种

品种影响维持能量的需要。彩色水貂比标准黑貂的能量需求高[44]。进口的黑貂品种比地方黑貂品种能量需求高[45]。

3.5　营养物质代谢产生的热量消耗

营养物质代谢产生的热量消耗对维持能量产生影响，饲粮在消化、吸收和其他成分协同消化时均有能源的释放，热增耗来自脂肪产生的代谢能占20%，来自蛋白产生的代谢能占50%[46]。利用Brouwer[47]通过总结三大营养物质氧化产热与消耗氧气和产生二氧化碳和甲烷的数量关系推导出的公式：热增耗(kJ)=3.866×氧气(L)+1.200×二氧化碳(L)－0.518×甲烷(L)－1.431×尿氮(g)，计算出动物的热增耗。

4　小　结

综上所述，国内外貂、狐能量需要研究主要围绕代谢能体系开展，得到了动物不同生理阶段代谢能的需要，但结果不尽相同，可能由多种影响因素导致。现今毛皮动物养殖模式、饲养环境、品种质量与几十年前发生很大变化，均将影响代谢能体系评定，为了更加精确地研究毛皮动物能量需要，需寻找一种更加适用的能量体系，净能体系是目前最能准确反映饲粮能值，满足动物能量需要和饲粮能值在同一基础水平上表达的体系，而该体系在毛皮动物上的研究尚属空白，因此，未来将在饲料原料净能值和动物不同生理阶段净能需要方面开展工作，为毛皮动物精细化饲养和饲料的精准配制提供充足的理论依据。

参考文献：

[1] 杨颖.日粮能量水平及来源对水貂生产性能和营养物质消化代谢的影响[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2013:28–30.

[2] 宋洪新,任战军,杨雪娇,等.日粮能量水平对幼龄獭兔血液生化指标及肝脏 *PPAR*γ、*INSIG*-2 基因表达的影响[J].西北农林科技大学学报（自然科学版）,2014,42(5):11–16,21.

[3] 黄英,李永能,杨明华,等.日粮能量水平对乌金猪肝脏组织脂类代谢相关基因表达的影响[J].云南农业大学学报,2012,27(6):826–832.

[4] 耿业业.育成期蓝狐脂肪消化代谢规律的研究[D].博士学位论文.北京:中国农业科学院,2011:58–84.

[5] NRC.Nutrient requirements of mink and foxes[S].Washington,D.C.:National Academy Press,1982.

[6] NRC.Nutrient requirements of dogs and cats[S].Washington,D.C.:National Academy

Press,2006.

[7] NOBLET J,MILGEN J,DUBOIS S.Utilization of metabolizable energy of feeds in pigs and poultry:interest of net energy systems?[C]//Proceedings of the 21st Annual Australian Poultry Science Symposium.Sydney:Poultry Research Foundation,2010:26–35.

[8] 陈明,杨露,杨亮.猪的净能体系及计算机应用系统研究进展[J].饲料研究,2011(8):15–17.

[9] MOEHN S,ATAKORA J,BALL R O.Using net energy for diet formulation:potential for the Canadian pig industry[J].Advances in Pork Production,2005,16:119–129.

[10] PALMER L S.Dietetics and its relationship to fur[J].American Fox and Fur Farmer,1927,7(2):22–24.

[11] FARRELL D J,WOOD A J.The nutrition of the female mink (*Mustela vison*). Ⅰ.The metabolic rate of the mink[J].Canadian Journal of Zoology,1968,46(1):41–45.

[12] PERELDIK N,TITOVA M I.Experimental determination of feeding standards for adult breeding mink[J].Karakulevodstvo Zverovodstvo,1950,3:29–35.

[13] CHWALIBOG A,GLEM-HANSEN N,HENCKEL S,et al.Energy metabolism in adult mink in relation to protein-energy levels and environmental temperature[C]//Proceedings of the 8th symposium on Energy Metabolism.Cambridge:Churchill College,1980,26:283–286.

[14] CHARLET-LERY G,FISZLEWICZ M,MOREL M T et al.Variation au cours du cycle annuel de l'état nutritionnel du vison mâle adulte. Ⅱ.Production de chaleur et besoins d’entretien[J].Annual Zootechny,1984,33(2):131–148.

[15] WAMBERG S.Rates of heat and water loss in female mink (*Mustela vison*) measured by direct calorimetry[J].Comparative Biochemistry and Physiology Part A:Physiology,1994,107(3):451–458.

[16] HARPER R B,TRAVIS H F,GLINSKY M S.Metabolizable energy requirement for maintenance and body composition of growing farm-raised male pastel mink (*Mustela vison*)[J].The Journal of Nutrition,1978,108(12):1937–1943.

[17] CHWALIBOG A,GLEM-ANSEN N,THORBEK G.Protein and energy metabolism in growing mink (*Mustela vison*)[J].Archiv für Tierernaehrung,1982,32(7/8):551–562.

[18] HANSEN N E,GLEM-HANSEN N,JORGENSEN G.Energy metabolism in mink during the period of growth[C]//3rd International Scientific Congress in Fur Animal Production.Versailles:[s.n],1984:7.

[19] BURLACU G,RUS V,ALDEA C,et al.Efficiency of utilizations of food energy by female growing minks[J].Archiv Für Tierernaehrung,1984,34(10):739–747.

[20] NJF.Energy and main nutrients in feed for mink and foxes[S].2nd ed.Finland:Fur Animals Nutrition and Feeding Committee,2012:12–15.

[21] 杨嘉实,靳世厚,佟煜人.貂的能量、蛋白需要及其饲料配制技术研究的综合报告[J].特产研究,1996(4):1–4.

[22] FINK R,TAUSON A H,HANSEN K B,et al.Energy intake and milk production in mink (*Mustela vison*)-effect of litter size[J].Archiv für Tierernahrung,2001,55(3):221–242.

[23] EVANS E V.Progress in the evaluation of energy and protein requirements of growing mink[J].Fur Trade Journal of Canada,1963,40(12):8–9.

[24] ALLEN M R P,EVANS E V,SIBBALD I R.Energy:protein relationships in the diet of growing mink[J].Canadian Journal of Physiology and Pharmacology,1964,42(6):733–744.

[25] ALDEN E.Digestibility trials on mink given fish meal and meat meal[J].Vara Palsjur,1987b,58(8/9):276–278.

[26] 李昌锐.我国高寒地区水貂日粮蛋白质和能量水平的初步研究[D].硕士学位论文.哈尔滨:东北林业大学,2009:24–28.

[27] 杨嘉实,张洪如,靳世厚.狐各生物学时期典型饲粮配方及营养水平推荐值[C]//全国首届特产动物营养学术讨论会文集.长春:吉林农业大学出版社,1990.

[28] 顾华孝,陈恩泽,沈新春,等.水貂配合饲料能量密度指标的研究[J].饲料工业,1991,12(5):11–15.

[29] TAUSON A H.Effect of body condition and dietary energy supply on reproductive processes in the female mink (*Mustela vison*)[J].Journal of Reproduction Fertility Supplement,1993,47:37–45.

[30] TAUSON A H,FORSBERG M,CHWALIBOG A.High leptin in pregnant mink (*Mustela vison*) may exert anorexigenic effects: a permissive factor for rapid increase in food intake during lactation[J].British Journal of Nutrition,2004,91(3):411–421.

[31] FINK R,TAUSON A H,CHWALIBOG A,et al.A first estimate of the amino acid requirement for milk production of the high-producing female mink (*Mustela vison)*[J].Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition,2006,90(1/2):60–69.

[32] TAUSON A H.Varied energy concentration in mink diets. Ⅱ.Effects on kit growth

performance,female weight changes and water turnover in the lactation period[J].Acta Agriculturae Scandinavica,1988,38(2):231–242.

[33] KOSKINEN N,TAUSON A H.Energy metabolism of growing blue foxes (*Alopex lagopus*) in energy and protein metabolism and nutrition[C]//Proceedings of the 3rd International Symposium on Energy and Protein Metabolism and Nutrition.Parma:Netherlands Wageningen Academic Publishers,2010,127.

[34] KOSKINEN N,TAUSON A H.Energy metabolism of breeding blue foxes (*Alopex lagopus*)[C].Oslo:[s.n],2010b,440:3.

[35] 靳世厚,杨嘉实.狐的能量、蛋白质需要量及其饲料配制技术的综合研究报告[J].经济动物学报,1998,2(2):10–13.

[36] PERELDIK N S,MILOVANOV L V,ERWIN A T.Feeding fur animals[M].Washington,D.C.:Agriculture and National Science,1972:344.

[37] NOBLET J,KAREGE C,DUBOIS S,et al.Metabolic utilization of energy and maintenance requirements in growing pigs:effects of sex and genotype[J].Journal of Animal Science,1999,77(5):1208–1216.

[38] IVERSEN J A.Basal energy metabolism of mustelids[J].Journal of Comparative Physiology,1972,81(4):341–344.

[39] KORHONEN H,HARRI M,ASIKAINEN J.Thermoregulation of polecat and raccoon dog:a comparative study with stoat,mink and blue fox[J].Comparative Biochemistry and Physiology Part A:Physiology,1983,74(2):225–230.

[40] KORHONEN H,HARRI M,HOHTOLA E.Response to cold in the blue fox and raccoon dog as evaluated by metabolism,heart rate and muscular shivering:a re-evaluation[J].Comparative Biochemistry and Physiology Part A:Physiology,1985,82(4):959–964.

[41] GLEM-HANSEN N,CHWALIBOG A.Influence of dietary protein,energy levels and environmental temperature on energy metabolism and energy requirement in adult mink[C]//Proceedings of the 2nd International Science Congress in Fur Animal Production.Copenhagen:[s.n],1980:10.

[42] HODSON A Z,SMIITH S E.Estimated maintenance energy requirements of foxes and mink[J].American Fur Breeder,1945,18(4):44–52.

[43] FARRELL D G,WOOD A J.The nutrition of the female mink (*Mustela vison*). Ⅱ.The energy requirement for maintenance[J].Canadian Journal of Zoology,1968,46(1):47–52.

[44] LEOSCHKE W L.Nutrition management on ranch[J].American Fur Breeder,1969,42(12):88–116.

[45] OSWALD P.Ontario mink rancher[R].Ontario:[s.n],1995.

[46] LEOSCHKE W L.Nutrition and nutritional physiology of the mink:a historical perspective[D].PhD Thesis.Madison:Wisconsin University,1954:74–75.

[47] BROUWER E.Report of sub-committee on constants and factors[C]//Proceedings of the 3rd Symposium on Energy Metabolism.London:Academic Press,1965:441–443.

Research Progress of Energy Metabolism of Fur Animals

ZHONG Wei　MU Linlin　ZHANG Ting　ZHANG Xinyu　LI Guangyu

（*State Key Laboratory of Special Economic Animal Molecular Biology, Institute of Special Animal and Plant Science, Chinese Academy of Agriculture Sciences, Changchun* 130112*, China)*

Abstract: Dietary energy directly affects performance of fur animals. The study of energy metabolism has been involved in how to really evaluate the needs of feed energy, utilization and energy conversion efficiency for animals. Maintenance energy is influenced by many factors such as basal metabolism of animal, ambient temperature, feeding management, breed as well as heat production of nutrients metabolism. This study summarized the research progress of energy metabolism of fur animals, in order to provide sufficient theoretical basis for refined breeding and accurate preparation of feed for fur animals.

Key words: fur animals; maintenance energy; metabolizable energy[i]

*Corresponding author, professor, E-mail：tcslgy@126.com

(责任编辑　田艳明)